

The Category Accuracy and Spatial Consistence Characteristic Analysis for Two 30 m Resolution Land Cover Products in China

Haimei Lei¹, Xiaonan Zhang², Qingsong Sun¹, Hongli Song^{1*}

¹School of Earth Science and Engineering, Hebei University of Engineering, Handan Hebei

²School of Mining and Surveying Engineering, Hebei University of Engineering, Handan Hebei

Email: *songholi2003@163.com

Received: Mar. 30th, 2020; accepted: Apr. 13th, 2020; published: Apr. 20th, 2020

Abstract

Land cover map is vital for research and applications concerning natural resource and environmental modeling, so assessment of their category accuracy and category confusion is very important for some specific applications. Using the existing referenced data from international organization, we compared the category accuracy and spatial consistency from national and regional scale, and explore the change characteristic of spatial heterogeneity. The results show that, forest, cropland and water category all have the high Producer's Accuracy and User's Accuracy, so these two data can be as input land cover data for forest, cropland and water scientific regions. The category heterogeneity shows a significant positive correlation with the elevation; above 1500 m, the percent of category inconformity is up to 42.91%, and inconformity mainly appears in 2~15 degrees, with areas occupying nearly 60%; below 2 degrees, the percent of category inconformity is minimum, only 7.09%. In the future, we should put more attention on the classification algorithm in heterogeneous areas.

Keywords

China, Land Cover Products, Accuracy Evaluation, Category Spatial Consistence

2套30 m分辨率土地覆被遥感数据类别精度及空间一致性特征研究

雷海梅¹, 张晓楠², 孙庆松¹, 宋宏利^{1*}

*通讯作者。

¹河北工程大学地球科学与工程学院, 河北 邯郸

²河北工程大学矿业与测绘工程学院, 河北 邯郸

Email: *songholi2003@163.com

收稿日期: 2020年3月30日; 录用日期: 2020年4月13日; 发布日期: 2020年4月20日

摘要

土地覆被数据是自然资源管理、城市规划、气候模拟、环境保护建模等领域的重要信息, 对其进行精度评价并揭示其类别混淆特征对于众多科学领域具有重要意义。本文以中国研发的2套30米分辨率全球尺度土地覆被数据Globeland30和FROM-GLC-Hierarchy数据为研究对象, 以国际组织发布的验证数据为参考, 从国家、区域及类别尺度进行了比较和评价, 探索了空间一致性随地形的变化特征。结果表明: 2套数据的林地、耕地、水体三种类别均具有较高的分类精度, Globeland30的草地具有较高的用户精度和制图精度, 林业、农业及水资源领域研究可以选择二者作为基础数据源, 草地科学研究可以选择Globeland30作为基础数据源。2套数据的类别空间不一致性与高程具有典型的正相关, 其不一致比例随着高程的增加明显增大, 在1500 m以上区域, 二者的类别不一致性比例最大, 达到了42.91%; 二者类别不一致性区域主要位于2~15度之间, 其面积接近占60%, 2度以下区域不一致性最低, 约占7.09%。研究表明地形条件是影响大尺度土地覆被制图的重要因素, 因此, 未来应进一步加强高海拔及景观异质性区域土地覆被分类算法的研发。

关键词

中国区域, 土地覆被数据, 精度评价, 类别空间一致性

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

全球或区域尺度土地覆被信息是研究人类社会经济过程及地表水热物质平衡的重要数据, 被广泛应用于土地覆被变化、生物多样性保护、城市规划、地理国情监测、碳循环建模等众多领域[1] [2] [3] [4] [5]。因此如何精确、及时地获取陆表土地覆被信息成为当今的研究热点[6]。

近年来, 随着传感器技术及计算机分类算法的不断发展, 在国内外科研团队的共同努力下, 一系列全球尺度的土地覆被产品相继问世, 截止目前, 已有 21 种全球尺度和 43 种区域尺度土地覆被产品向全球发布[7], 如 1 km 空间分辨率的 IGBP DISCover 土地覆被数据[8], 波士顿大学研制的 1000 m 分辨率 MOD12Q1 和 500 m 分辨率的 MCD12Q1 土地覆被数据[9], 欧洲空间局研制的 300 m 分辨率的 GlobCover 和 CCI-LC 土地覆被数据[10] [11], 以及国际制图委员会研制 500 m 分辨率的 GLCNMO 土地覆被数据[12]。尽管上述土地覆被数据的出现为深入研究陆地表面土地覆被信息分布及动态演变提供了有力的数据支撑, 但其 300~1000 m 的空间分辨率仍相对较低, 特别在景观异质性区域混合像元现象较为显著。自 2008 年随着 Landsat 数据的免费获取, 全球尺度 30 m 分辨率土地覆被产品研制成为当前各个国家及组织共同努力的方向。在中国国家高新技术研究发展计划项目、国家 863 计划重点项目的支持下, 清华大学和国家基础地理信息中心等机构相继研制成功全球尺度 30 m 分辨率土地覆被遥感产品 FROM GLC 和

Globeland30 [13] [14], 其中 FROM 数据分别代表 2010、2015 和 2017 年陆表土地覆被特征, 而 Globeland30 分别代表 2000 年和 2010 年两个时间基点陆表土地覆特征, 2 种产品均已通过互联网免费发布。针对 FROM GLC 和 Globeland30 两种数据的更新改进及类别精度评价, 国内外学者均在全球及不同区域展开了研究, 并得出了有价值的研究成果[15]-[22], 尽管二者都经过了初步验证, 但由于采用了不同的验证方案, 报告的精度可能在一定程度上不具备可比性[23]。经综合分析, 现有关于 FROM GLC 和 Globeland30 的研究主要集中在三个方面, 一是关于 FROM GLC 数据的分类精度改进研究[15] [16] [17], 二是关于 Globeland30 数据在全球各个区域的精度验证研究[18] [19] [20], 三是关于 FROM GLC 及 Globeland30 数据升尺度转后与其它全球尺度土地覆被数据(比如 MODIS Collection5 和 ESACCI)在特定区域的精度比较[21] [22], 而关于二者在中国区域 30 m 原始空间分辨率下的类别精度比较研究则鲜有报道。虽然按照最大面积比例或最邻近像元等方法将其转换为 300 米或 500 米分辨率数据有助于与其他土地覆被遥感数据进行精度比较, 但转后过程势必会造成原始数据类别分布的变化, 并最终导致原始数据类别精度的改变[17]。

基于上述问题的存在, 本文以中国区域为研究对象, 以 FROM-GLC-Hierarchy 和 GlobeLand30 为待验证数据, 基于国际组织发布的已有参考数据, 从国家、区域、及类别四个尺度对比分析二者的类别精度及空间类别一致性, 同时分析地形对于二者分类精度的影响。本文的研究成果可为用户合理选择数据进行特定的科学研究提供一定的科学参考, 同时也为未来大尺度土地覆被制图自动选择训练及验证样本提供合理依据。

2. 数据来源及预处理

2.1. 土地覆被遥感数据

本文所用 FROM-GLC 数据代表的时间基点为 2010 年, 其下载地址为 <http://data.ess.tsinghua.edu.cn/index.html>, 在研制过程中采用了覆盖全球(除了南极洲和格林兰岛以外) 8903 景 Landsat TM/ETM+ 影像作为数据源, 其中约 75% 的 Landsat 遥感影像的获取时间介于 2009~2011 期间, 数据采用 2 级分类体系, 一级分类包含 10 个类别, 二级分类包含 27 个类别。在综合分析已有研究基础上, 本文采用的并非 FROM GLC 原始数据, 而是俞乐等采用 FROM-GLC、FROM-GLC-seg 及多源辅助数据集成后的 FROM GLC-Agg (简称 FROM) 数据, 该数据相对于原始的 FROM GLC 数据在精度上有一定提高, 经验证其 30 米分辨率数据在全球尺度的总体精度为 69.50% [13] [17]。

本文所用 Globeland30 数据代表的时间基点为 2010 年, 其下载地址为 <http://www.globallandcover.com>, 数据采用 1 级分类体系, 包含了耕地、森林、草地、灌丛地、水体、湿地、苔原、人造覆盖、裸地、冰川与永久积雪 10 个类别。该产品以 Landsat TM/ETM+ 及中国环境减灾卫星(HJ-1)为主要数据源, 采用基于像元(Pixel) - 对象(Object) - 知识(Knowledge)的综合分类方法, 突破了现有分类方法难以在大尺度范围数据精度的普适性难题, 有效降低了同物异谱、异物同谱造成的分类错误, 较大提高土地覆被类别分类精度, 经全球及区域尺度验证, 总体精度介于 82%-93%之间[14] [18] [19] [20] [21] [22]。

经互联网下载的中国区域 FROM 数据和 Globeland30 数据均以通用横轴墨卡托投影(Universal Transverse Mercator Projection)作为空间基准, 因此无需对二者进行坐标系统转换, 但数据以 WRS-2 行列及 MODI Tile 形式存储, 因此需要在 GIS 软件中对其进行镶嵌处理, 再以中国行政区划边界图对镶嵌结果进行裁剪, 获取中国区域 FROM 和 Globeland30 土地覆被数据。土地覆被分类体系的统一化处理是进行分类精度比较的前提, FROM 采用两级分类体系, 而 GlobeLand30 采用一级分类体系, 为了实现二者的交互比较, 本文参考文献[17]提出的类别聚合规则对 FROM 数据进行类别聚合, 将其由二级分类转换为与 GlobeLand30 一致的一级分类。由于中国区域苔原类别面积较小, 因此未包含在本次研究类别范围。具体类别信息参加表 1。

Table 1. The table of land cover category information**表 1.** 土地覆被类别信息表

土地覆被类别	FROM	Globeland30
1 耕地	11 水稻田, 12 大棚, 13 其它农用地	10 耕地
2 林地	21 阔叶林, 22 针叶林, 23 混交林, 24 果园	20 森林
3 草地	31 牧草地, 32 天然草地, 72 禾本苔原	30 草地
4 灌木	71 灌丛苔原	40 灌木
5 湿地	51 草地湿地, 52 裸地湿地	50 湿地
6 水体	61 湖泊, 62 鱼塘, 63 水库/鱼塘	60 水体
7 人造地表	81 高返照, 82 低返照	80 人造覆盖
8 裸地	91 盐碱地, 92 沙地, 93 岩石地, 94 裸农地, 95 干枯河湖床, 96 其他裸地	90 裸地
9 冰川和永久性积雪	101 积雪或粒雪, 102 冰盖或冰川	100 冰川和永久积雪

2.2. 参考数据

参考数据是进行土地覆被遥感产品精度验证的基础, 其数量、质量和分布对空间位置精度评价影响重大[24]。参考数据的获取目前主要有两种方式, 一是野外实地调查, 通过 GPS 等设备记录下样点坐标, 并实地标注类别标签, 该方法精度高, 但费时、费力, 难以实现大尺度参考数据采集; 二是以相应时间基点高分辨率遥感影像最为底图, 通过领域专家目视解译判读样本点土地覆被类别, 该方法是目前大尺度土地覆被遥感产品参考数据获取的主要方式。近年来, 为了推动全球尺度土地覆被遥感产品的精度验证工作, 国内外科研机构相继公布了一系列土地覆被参考数据集, 如 GLC2000 参考数据、GLOBCOVER 参考数据、The System for Terrestrial Ecosystem Parameterization (STEP)参考数据、GLCNMO 参考数据、GEO_WIKI 参考数据及 FROM 参考数据, 这些数据均具有较高的类别精度, 且符合分层概率采样策略[25]。为了实现参考数据与评价数据分类体系一致性, 依据文献[25]完成参考数据分类体系转换。关于参考数据的详细说明见文献[26]。

3. 研究方法

3.1. 相对比较分析法

在遥感科学领域, 遥感产品的验证分为两种方式, 一种是基于野外实地调查或高精度参考数据的绝对精度评价; 另一种是通过遥感产品间的比较而进行的相对精度验证[26]。基于野外实地调查方法可以获得高精度参考数据, 但需要消耗大量的人力、物力, 主要适用于中小尺度遥感产品验证; 产品间相对比较方法尽管无法揭示遥感产品的绝对精度, 但可以分析不同遥感数据间的一致性和差异性, 可为大尺度遥感产品样本的选择及遥感分类算法的发展提供一定依据。为了分析 FROM 和 GlobeLand30 两种产品所包含的土地覆被信息在空间上的变化规律, 本文将中国区域分为东北、华北、西北、华中、华南和西南六个区域, 在国家及区域尺度对二者的类别面积一致性、类别混淆空间图谱进行分析。

研究表明景观分布的异质性是影响分类精度的关键因子, 而地形特征则是导致景观异质性的关键因素[27]。为此, 本文将进一步分析 2 套土地覆被数据的类别空间一致性随高程和坡度的变化特征。首先将 FROM 和 GlobeLand30 两种数据在空间上进行叠加, 逐像元分析叠加结果, 如果对应像元两种数据的类别相同, 则表示一致, 该像元赋值为 1, 否则表示异质, 该像元赋值为 0; 然后在 GIS 软件中统计一致性

像元和异质性像元在不同高程及坡度条件下的数量特征,进而实现类别一致性与高程及坡度的变化关系。

鉴于 FROM 和 GlobeLand30 两种数据的空间分辨率均为 30 米,本文选择 GDEMDEM 30 米分辨率数字高程数据作为地形基础数据,该数据下载于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn>)。根据高程值本文将研究区域划分为平原、丘陵、低山、中山、和 高山五种类型[28],进而分析 2 种土地覆被数据在每种地貌形态中的类别一致性分布特征。同时,在 GIS 软件中根据 DEM 数据计算研究区域坡度图,采用重分类方法将坡度聚合为 $\leq 2^\circ$ 、 $2^\circ \sim 6^\circ$ 、 $6^\circ \sim 15^\circ$ 、 $15^\circ \sim 25^\circ$ 和 $> 25^\circ$ 五个等级,分析在每个坡度区间 FORM 和 GlobeLand30 数据的一致性分布特征。

3.2. 基于误差矩阵的分析

相对比较分析尽管可以揭示不同土地覆被数据的类别一致性,但无法精确表达每种数据的绝对类别精度。误差矩阵是土地覆被遥感产品精度评价最常见的方法之一,被广泛应用于遥感数据的精度评价。该方法主要是通过一一比较参考数据与评价数据在对应位置处的类别差异,基于比较结果构建参考数据与评价数据的二维矩阵,通过该矩阵计算总体精度、Kappa 系数、生产者精度、用户精度、F1 指数等评价指标[29]。

本文所采用的参考数据集均为点类型,每个点所代表的土地覆被类别为对应参考样方中心点处土地覆被信息。在基于误差矩阵的精度评价过程中,通 ArcGIS 软件中的点属性提取功能,分别获取 FROM 和 GlobeLand30 对应位置的土地覆被类别,并将该类别假设为该点所在像元的土地覆被类别,通过与参考数据逐点的一一比较,最终构建土地覆被类别误差矩阵。

4. 结果分析

4.1. 面积一致性分析

图 1 揭示了 FROM 和 GlobeLand30 两种土地覆被数据在国家尺度的类别面积一致性,从图中可以看出,耕地、林地、草地、裸地 4 种土地覆被类别是中国区域的主要地表覆被类型,其中 FROM 数据 4 种类别约占研究区总面积的 90.67%, GlobeLand30 约占 94.08%。在 4 种主要土地覆被类别中,2 种数据的耕地和林地具有较好的面积一致性,其中 FROM 的耕地和林地面积百分比分别为 15.94% 和 18.73%, GlobeLand30 则为 21.34% 和 22.24%,二者相差了 5.40% 和 3.51%;相对于耕地和林地,二者的草地和裸地类别的面积一致性则较差,其中 FROM 的草地和裸地面积百分比分别为 9.18% 和 46.82%,而 GlobeLand30 为 29.58% 和 20.91%,分别相差了 20.40% 和 25.91%,经分析其主要原因是 2 种数据对于草地定义不同, FROM 数据对于草地的定义是植被覆盖度 $> 15\%$,而 GlobeLand30 对草地的定义则为植被覆盖度 > 10 ,结果导致 FROM 数据的草地面积比例较小,裸地面积比例较大, GlobeLand30 则是草地面积较大,裸地面积较少。由于灌木、水体、湿地、人造地表及冰川积雪类别的面积比例较小,二者的差别相对较小,分别为 0.98%、2.04%、0.35%、0.95% 和 1.66%。

图 2 揭示了 FROM 和 GlobeLand30 两种数据的耕地、林地、草地和裸地 4 种土地覆被类别在中国东北、华北、西北、东南、西南和华中 6 个地理区域的一致性比较。基于 6 个地理区域的土地覆被类别面积,本文分别计算了两种数据每种类别的相关系数,结果表明耕地和林地的相关系数均较高,分别达到了 0.98 和 0.99,说明了二者的耕地和林地具有很好的一致性;而草地和裸地的相关系数则较低,草地仅为 0.25,裸地为 0.62。图 2 表明,对于耕地类别, FROM 数据的面积在 6 个地理分区内均小于 GlobeLand30 数据,在东北、华北和西南区域尤为明显,二者间的数量差异分别为 146,988.86 平方公里、98,665.88 平方公里和 116,602.18 平方公里;与耕地相似, FROM 数据的林地面积也均小于 GlobeLand30 数据,但其数量差距相对较小,尤其在华北地区,二者林地面积仅相差 4812.37 平方公里;对于草地类别, FROM

数据的面积在东北区域明显小于 GlobeLand30，为 155,215.39 平方公里和 638,254.01 平方公里，其面积差异为 483,038.62 平方公里，与东北区域相反，FROM 数据在西北区域的草地面积则明显高于 GlobeLand30，分别为 503,747.07 平方公里和 176,695.73 平方公里，其差值为 327,051.34 平方公里；对于裸地类别，FROM 数据在东北及西北区域则明显高于 GlobeLand30 数据，在东北区域分别为 1,023,095.64 平方公里和 305,597.82 平方公里，在西北区域则分别为 2,851,605.57 平方公里和 167,151.07 平方公里。

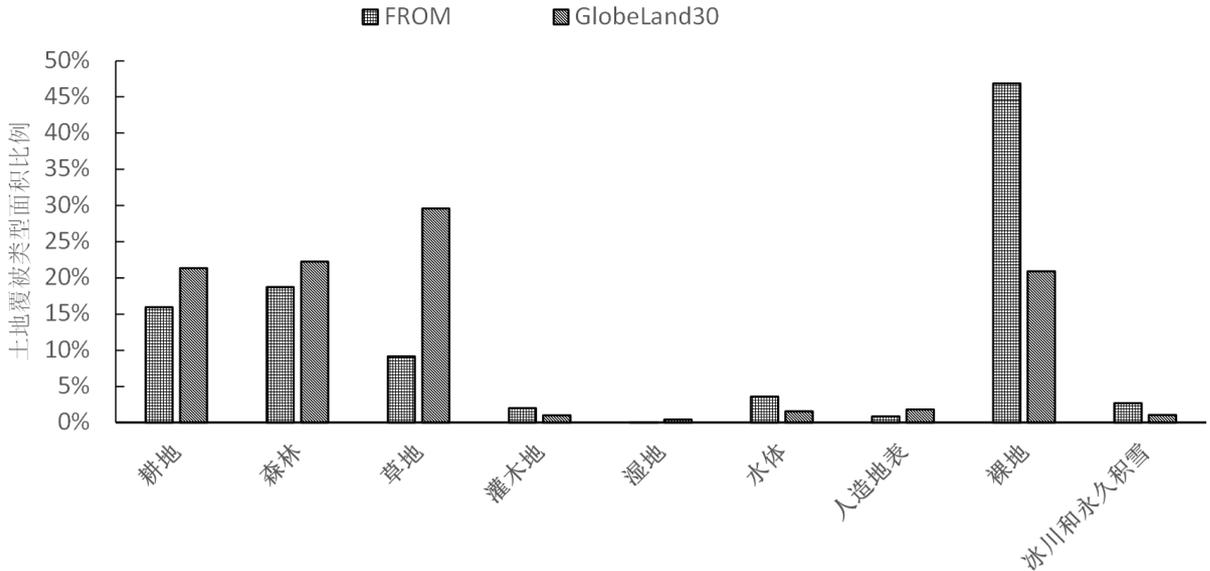


Figure 1. The map of category consistency in state scale
图 1. 国家尺度类别一致性比较

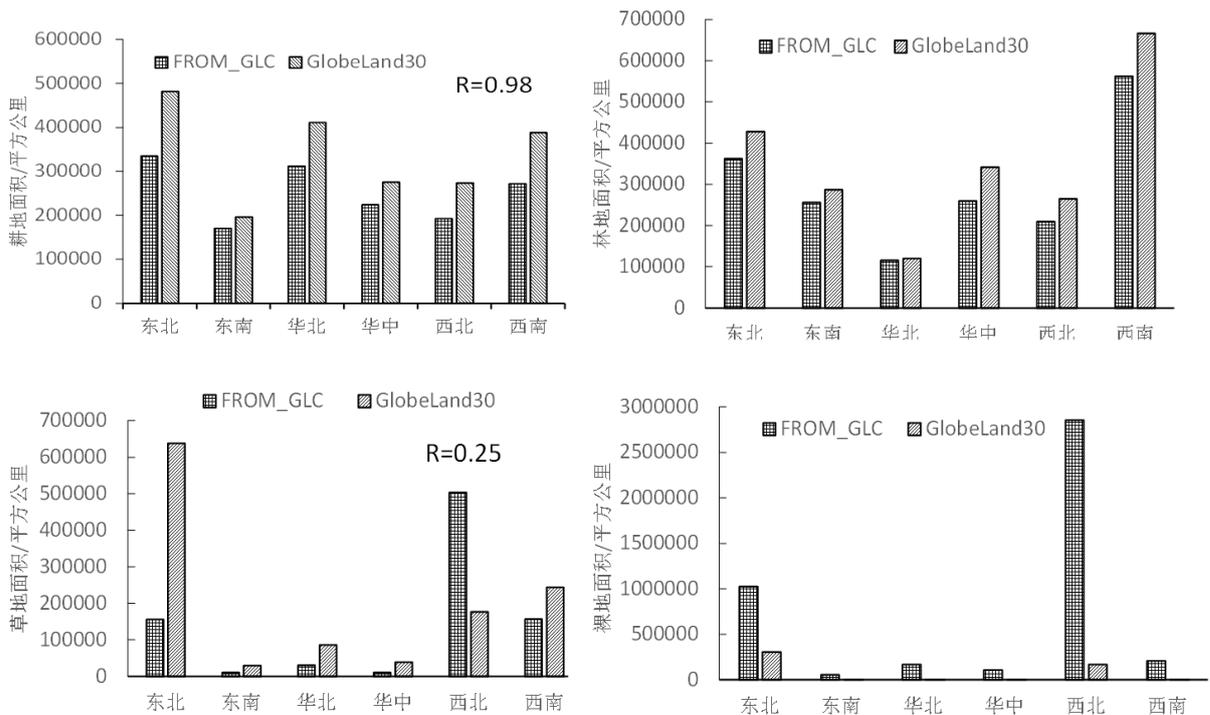


Figure 2. The map of category consistency in regional scale
图 2. 区域尺度类别一致性比较

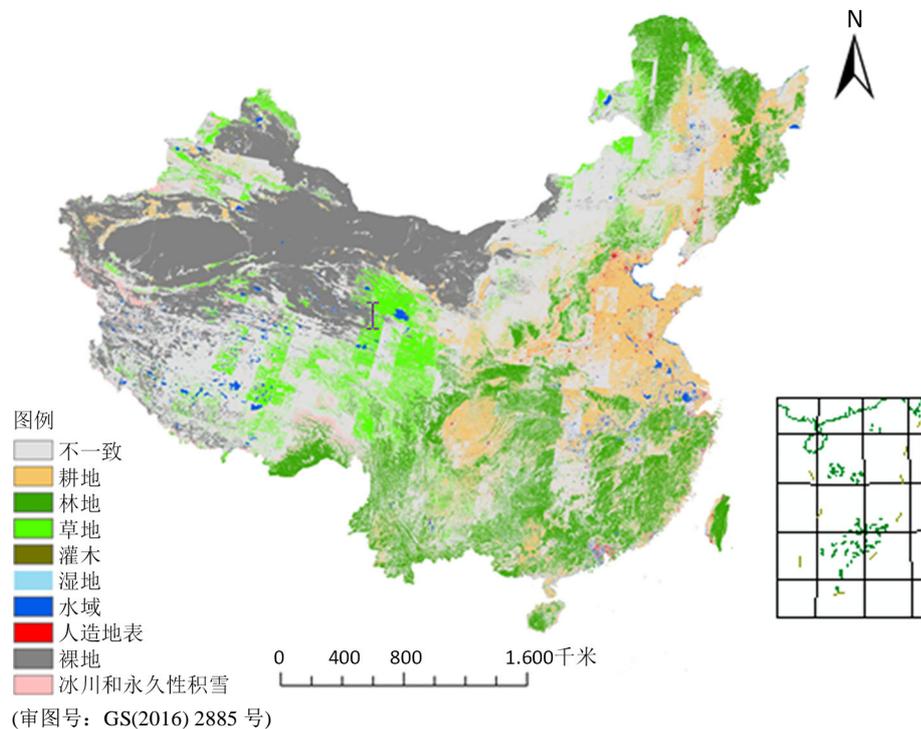


Figure 3. The category consistency map of land cover category
图 3. 类别一致性空间图谱

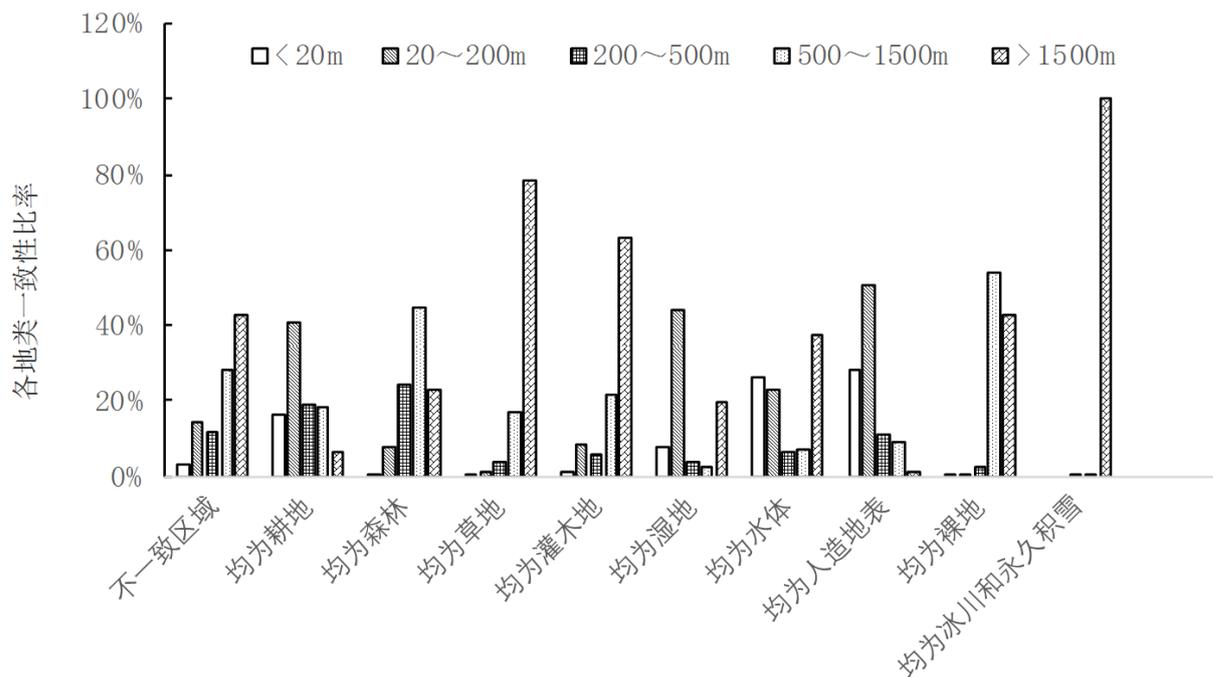


Figure 4. The relationship of category consistency and elevation
图 4. 类别一致性随高程变化特征图

图 3 揭示了 2 种土地覆被数据 9 种类别在空间上的一致性图谱, 统计计算表明, 二者类别不一致区域面积约占研究区总面积的 46.91%, 混淆主要出现在中国西南山地丘陵区域、内蒙古中东部区域、青藏

高原区域、辽宁省东部、河南、湖北、河南等省份，混淆主要发生于草地和裸地之间，主要是因为二者对于裸地和草地的定义差异所致。二者一致性区域约占研究区总面积的 53.09%，其中耕地一致性区域约占 10.03%，主要位于河北南部、山东、安徽、江苏、四川盆地区域；林地一致性区域约占 14.63%，主要分布于大兴安岭区域、台湾省、浙江、江西、福建、广东等区域，草地一致性区域约占 6.24%，主要位于青海省东部、西藏东部、四川西北部区域；裸地一致性区域约占 19.81%，主要分布于中国西北区域；灌木、湿地、水域、人造地表、冰川和永久性积雪面积一致性比例较小，均小于 1%。

图 4 揭示了两种数据的类别一致性随高程的变化情况，从图中可以看出，二者类别不一致性与高程具有典型的正相关，其不一致比例随着高程的增加明显增大，在 1500 m 以上区域，二者的类别不一致性比例最大，达到了 42.91%；对于耕地，二者在 20~200 米高程区域具有最大的一致性比例，其数值为 40.62%，一致性比例最小则出现在 1500 米以上区域，其数值仅为 6.31%；林地则在 500~1500 区域具有最高的一致性比例，其数值为 44.95%，一致性比例最低区域则出现在 20 米以下区域，其数值仅为 0.17%；草地的一致性比例最大值位于 1500 米以上区域，其数值为 78.73%，最小值则出现在 20 m 以下区域，其数值为 0.03%；湿地和水体具有相似分布特征，其一致性比例均在 1500 以上及 200 m 以下具有较高的数值，200~500 m 区域一致性比例数值较小；人造地表和裸地则具有相反的分布特征，其中人工地表在 200 m 以下区域具有最好的一致性比例，其一致性比例总和为 78%，200 m 以上其一致性比例则较小，裸地在 500 m 以上区域具有最好的一致性比例，其一致性比例总和接近 96%；冰川和永久性冰雪一致性区域几乎全部出现在 1500 m 以上区域。

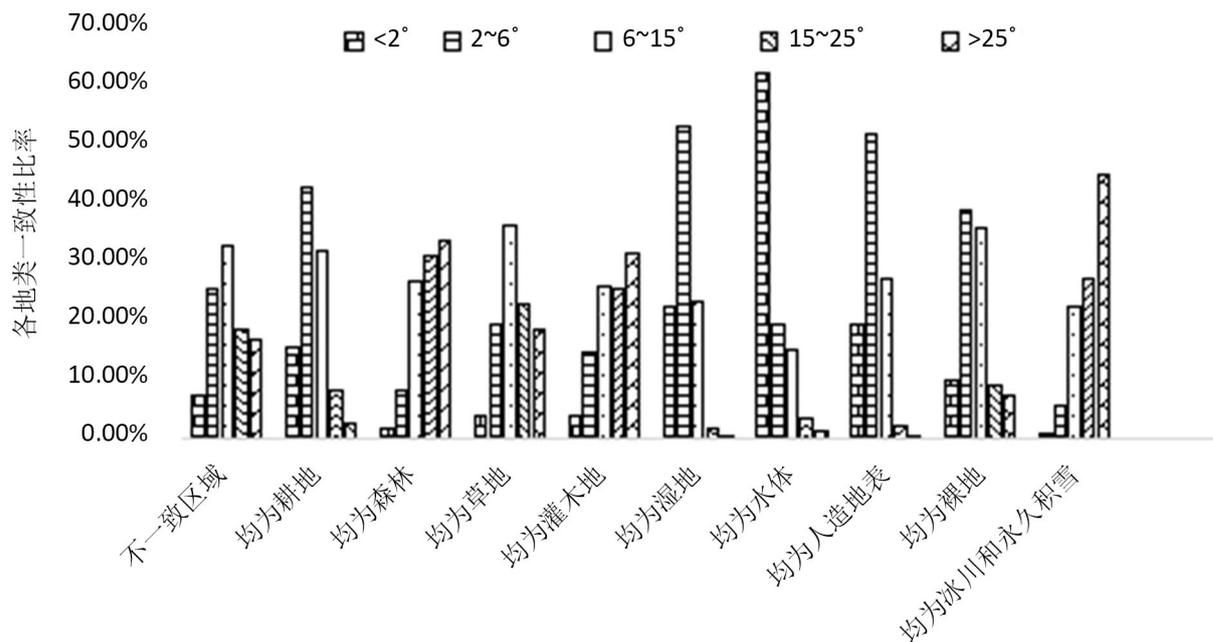


Figure 5. The relationship of category consistency and slope
图 5. 类别一致性随坡度变化特征图

图 5 揭示了 FROM 和 Globeland30 两种数据类别一致性随坡度的变化情况，从图中可以看出，二者类别不一致性区域主要位于 2~15 度之间，其面积接近占 60%，2 度以下区域不一致性最低，约占 7.09%；耕地的一致性区域主要位于 6 度以下的平原、丘陵区域，约占耕地一致性总面积的 57%，大于 25 度区域耕地一致性最小，仅占 2.49%；森林、灌木、冰川和永久性积雪表现出相同的一致性变化特征，3 种类别的一致性均随坡度的增加而呈上升趋势；草地的类别一致性则主要位于 6 度以上区域，

2 度以下比例最低, 仅为 3.89%; 湿地、水体、人造地表的面积较小, 其类别一致性区域主要为 6 度以下区域。

4.2. 基于误差矩阵的分析

图 6 揭示了 2 种数据的用户精度和制图精度特征, 从图中可以得出二者的耕地、森林、草地、人造地表、水体和永久性积雪均具有较高的用户精度, 均在 75% 以上, 其中 Globeland30 的耕地、水体和永久性冰雪的用户精度值达到了 89.81%、94.19% 和 93.48%, FROM 数据的人造地表用户精度达到了 94.74%。与上述类别相反, 二者的灌木用户精度均较低, 分别为 42.86% 和 35.71%, Globeland30 裸地的用户精度明显高于 FROM, 其数值分别为 75.84% 和 40.92%, 高出 34.92%。相对于用户精度, 二者的耕地、森林、水体、裸地和永久性冰雪均具有较高的制图精度, 其中 FROM 数据裸地的制图精度为 96.18%, Globeland30 数据的森林制图精度为 85.92%; 对于草地类别, Globeland30 具有较高的制图精度, 其数值为 83.46%, 而 FROM 该类别制图精度则较低, 为 40.00%; 与用户精度相似, 二者的灌木制图精度均较低。

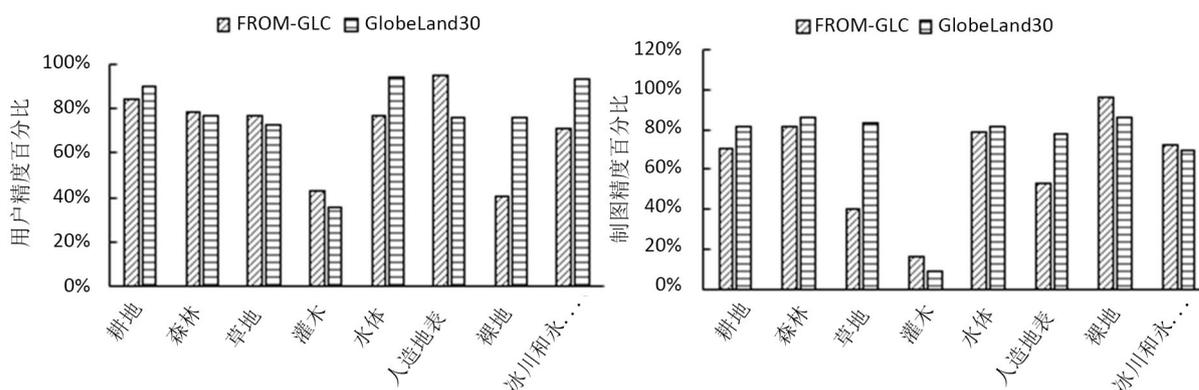


Figure 6. The comparison of user accuracy and producer accuracy
图 6. 用户精度及制图精度比较

5. 结论

1) 基于国际组织发布的参考数据, 误差矩阵计算结果表明 2 种 30 米分辨率土地覆被数据的林地、耕地、水体三种类别均具有较高的生产者精度和用户精度, Globeland30 的草地具有较高的生产者精度和制图精度, 林业、农业及水资源领域研究可以选择二者作为基础数据源, 草地科学研究可以选择 Globeland30 作为基础数据源。与已有研究相同, 两种数据的灌木类别的用户精度和制图精度均较低, 因此未来如何集成多源数据及改进分类算法进而提高大尺度遥感数据灌木类别的识别精度, 有效降低该类别与耕地、林地和草地间的错分是当前亟待解决的问题。

2) 类别空间混淆图谱揭示了二者类别在空间上的一致性及其混淆空间分布特征, 结果表明二者裸地具有最高的类别一致性, 其次为林地、耕地和草地。类别一致性区域可以作为未来大尺度土地覆被数据验证训练样本选择及土地覆被数据精度评价参考样本选择提供数据来源。

3) 二者类别不一致性与高程具有典型的正相关, 其不一致比例随着高程的增加明显增大, 在 1500 m 以上区域, 二者的类别不一致性比例最大, 达到了 42.91%; 二者类别不一致性区域主要位于 2~15 度之间, 其面积接近占 60%, 2 度以下区域不一致性最低, 约占 7.09%。研究表明地形条件是影响大尺度土地覆被制图的重要因素, 因此, 未来应进一步加强高海拔区域土地覆被分类算法的研发。

基金项目

河北省自然科学基金(D2019402067)。

参考文献

- [1] 陈军, 陈晋, 廖安平, 等. 全球 30m 地表覆盖遥感制图的整体技术[J]. 测绘学报, 2014, 43(6): 551-557.
- [2] 陈利军, 陈军, 廖安平, 等. 30m 全球地表覆盖遥感分类方法初探[J]. 测绘通报, 2012(S1): 350-353.
- [3] Verburg, P.H., Neumann, K. and Nol, L. (2011) Challenges in Using Land Use and Land Cover Data for Global Change Studies. *Global Change Biology*, **17**, 974-989. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02307.x>
- [4] Mayaux, P., Eva, H., Gallego, J., et al. (2006) Validation of the Global Land Cover 2000 Map. *IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing*, **44**, 1728-1739. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2006.864370>
- [5] Stehman, S., Olofsson, P., Woodcock, C., et al. (2012) A Global Land-Cover Validation Data Set, II: Augmenting a Stratified Sampling Design to Estimate Accuracy by Region and Land-Cover Class. *International Journal of Remote Sensing*, **33**, 6975-6993. <https://doi.org/10.1080/01431161.2012.695092>
- [6] Chen, X.Y., Lin, Y., Zhang, M., et al. (2017) Assessment of the Cropland Classifications in Four Global Land Cover Datasets: A Case Study of Shaanxi Province, China. *Journal of Integrative Agriculture*, **16**, 298-311. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61442-9](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61442-9)
- [7] Grekousis, G., Mountrakis, G. and Kavouras, M. (2015) An Overview of 21 Global and 43 Regional Land-Cover Mapping Products. *International Journal of Remote Sensing*, **36**, 5309-5335. <https://doi.org/10.1080/01431161.2015.1093195>
- [8] Loveland, T.R., Reed, B.C., Brown, J.F., et al. (2000) Development of a Global Land Cover Characteristics Database and IGBP Discover from 1 km AVHRR Data. *International Journal of Remote Sensing*, **21**, 1303-1330. <https://doi.org/10.1080/014311600210191>
- [9] Friedl, M.A., Sullamenashe, D., Tan, B., et al. (2010) MODIS Collection 5 Global Land Cover: Algorithm Refinements and Characterization of New Datasets. *Remote Sensing of Environment*, **114**, 168-182. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.08.016>
- [10] Olivier, A., Patrice, B., Frederic, A., et al. (2008) The Most Detailed Portrait of Earth. *ESA Bulletin. Bulletin ASE. European Space Agency*, **2008**, 24-31.
- [11] Lamarche, C., Bontemps, S., Verhegghen, A., et al. (2013) Characterizing the Surface Dynamics for Land Cover Mapping: Current Achievements of the ESA CCI Land Cover. ESA Special Publication.
- [12] Kasimu, A. (2011) Production of Global Land Cover Data—GLCNMO. *Journal of Geography & Geology*, **4**, 22-49. <https://doi.org/10.1080/17538941003777521>
- [13] Gong, P., Wang, J., Yu, L., et al. (2013) Finer Resolution Observation and Monitoring of Global Land Cover: First Mapping Results with Landsat TM and ETM+ Data. *International Journal of Remote Sensing*, **34**, 2607-2654. <https://doi.org/10.1080/01431161.2012.748992>
- [14] Chen, J., Ban, Y. and Li, S. (2015) China: Open Access to Earth Land-Cover Map. *Nature*, **514**, 434. <https://doi.org/10.1038/514434c>
- [15] Yu, L., Wang, J. and Gong, P. (2013) Improving 30m Global Land-Cover Map FROM-GLC with Time Series MODIS and Auxiliary Data Sets: A Segmentation-Based Approach. *International Journal for Remote Sensing*, **34**, 5851-5867. <https://doi.org/10.1080/01431161.2013.798055>
- [16] Yu, L., Wang, J., Clinton, N., et al. (2013) FROM-GC: 30 m Global Cropland Extent Derived through Multisource Data Integration. *International Journal of Digital Earth*, **6**, 521-533. <https://doi.org/10.1080/17538947.2013.822574>
- [17] 俞乐, 王杰, 李雪草, 等. 基于多源数据集成的多分辨率全球地表覆盖制图[J]. 中国科学: 地球科学, 2014(8): 1646-1660.
- [18] Arsanjani, J.J., Tayyebi, A. and Vaz, E. (2016) GlobeLand30 as an Alternative Fine-Scale Global Land Cover Map: Challenges, Possibilities, and Implications for Developing Countries. *Habitat International*, **55**, 25-31. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2016.02.003>
- [19] See, L., Laso Bayas, J., Schepaschenko, D., et al. (2017) LACO-Wiki: A New Online Land Cover Validation Tool Demonstrated Using GlobeLand30 for Kenya. *Remote Sensing*, **9**, 754. <https://doi.org/10.3390/rs9070754>
- [20] Sun, B., Chen, X. and Zhou, Q. (2016) Uncertainty Assessment of GLOBELAND30 Land Cover Data Set Over Central Asia. *ISPRS International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, **41**, 1313-1317. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B8-1313-2016>

-
- [21] Yang, Y., Xiao, P., Feng, X., *et al.* (2017) Accuracy Assessment of Seven Global Land Cover Datasets over China. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, **125**, 156-173. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.01.016>
- [22] 陆苗, 吴文斌, 张莉, 等. 不同耕地数据集在中国区域的对比研究[J]. 中国科学: 地球科学, 2016, 46(11): 1459.
- [23] 冉有华, 李新. 全球第一个综合高分辨率土地覆盖图——中国 30m 分辨率全球土地覆盖图评述[J]. 中国科学: 地球科学, 2015, 45(8): 1243-1244.
- [24] Foody, G.M. (2010) Assessing the Accuracy of Land Cover Change with Imperfect Ground Reference Data. *Remote Sensing of Environment*, **114**, 2271-2285. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.05.003>
- [25] 宋宏利, 张晓楠. 国家尺度异源土地覆被遥感产品精度评价[J]. 国土资源遥感, 2018, 30(3): 26-32.
- [26] 宋宏利, 张晓楠, 王雨, 等. 多尺度高分辨率全球土地覆被遥感产品相对一致性比较[J]. 农业工程学报, 2012, 28(15): 118-124.
- [27] 宋宏利, 张晓楠. 中国区域多源土地覆被遥感产品精度分析与验证[J]. 农业工程学报, 2012, 28(22): 207-214.
- [28] 高玄或. 地貌基本形态的主客分类法[J]. 山地学报, 2004, 22(3): 261-266.
- [29] Congalton, R.G. (1998) A Review of Assessing the Accuracy of Classification of Remotely Sensed Data. *Remote Sensing of Environment*, **37**, 270-279.